

بررسی اثر نصب طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه‌های قائم نیم‌دایره‌ای پل

میکائیل مرادپور^۱، داود فرسادی‌زاده^{۲*} و علی حسین‌زاده دلیر^۳

چکیده

تکیه‌گاه‌های پل موجب تنگ شدن مقطع رودخانه و تغییر الگوی جریان می‌شوند. تمرکز بیش از حد سرعت، افزایش تنش برشی بستر، گرداب‌ها و در نتیجه آبشستگی موضعی در اثر وجود تکیه‌گاه پل در رودخانه ایجاد می‌شود. یکی از روش‌های کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه‌های پل، نصب طوق است. طوق با منحرف کردن جریان رو به پایین، موجب کاهش آبشستگی و به تأخیر افتادن پیشرفت آبشستگی می‌شود. در این تحقیق تأثیر طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه‌های قائم نیم‌دایره‌ای پل به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۶ متر و با عرض ۰/۸ متر، در شرایط آب زلال و با نسبت سرعت $\frac{V}{V_c} = 0/85$ انجام شد. نتایج نشان داد که با کاربرد طوق‌های مختلف ۶۳/۵ تا ۱۰۰ درصد کاهش آبشستگی وجود داشت و علاوه بر آن باعث تأخیر زمانی آبشستگی نیز شدند. همچنین طوق‌ها موجب انتقال حداکثر عمق آبشستگی به پایین‌دست تکیه‌گاه پل شدند.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، تکیه‌گاه نیم‌دایره‌ای پل، طوق، کاهش آبشستگی.

ارجاع: مرادپور م، فرسادی‌زاده د، و حسین‌زاده دلیر ع. ۱۳۹۱. بررسی اثر نصب طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه‌های قائم نیم‌دایره‌ای پل. مجله پژوهش آب ایران. ۸-۱: (۱۱) ۶.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: farsadi_d@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۵/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۷/۱۰

مقدمه

شناخت تغییرات زمانی آبشستگی و زمان لازم برای رسیدن به وضعیت تعادل در تعیین حداکثر عمق آبشستگی مفید خواهد بود. تعدادی از معادله‌های ارایه شده به شرح زیر است:

معادله کاردوسو و بتس (۱۹۹۹):

$$\frac{d_{st}}{d_s} = 1 - \exp \left[-1.025 \left(\frac{t}{T_*} \right)^{0.35} \right] \quad (5)$$

که در آن، T_* زمانی که $d_{st} = 0.632d_s$ و d_s عمق تعادل آبشستگی است.

معادله اولیوتو و هگر (۲۰۰۲):

$$\frac{d_{st}}{L_R} = 0.068 N_s \sigma_g^{-0.5} F_d^{1.5} \log(T_R) \quad (6)$$

که در آن، N_s عدد یا شماره شکل، T_R زمان بی‌بعد که برابر است با $T_R = \frac{(\Delta g d_{50})^{0.5}}{L_R}$ و L_R طول مبنا که برابر

$$\text{است با } L_R = L^{2/3} y^{1/3}$$

معادله کلمن و همکاران (۲۰۰۳):

$$\frac{d_{st}}{d_s} = \exp \left[-0.07 \left(\frac{V_c}{V} \right) \left| \ln \left(\frac{t}{t_e} \right) \right|^{1.5} \right] \quad (7)$$

معادله یانماز و کاوس (۲۰۰۶):

$$\frac{d_s}{L} = 0.25 F_d^{0.85} \left(\frac{L}{y} \right)^{0.15} (\log T_s)^{0.6} \quad (8)$$

که در آن T_s پارامتر بی‌بعد زمان که برابر با $T_s = t d_{50} \frac{(\Delta g d_{50})^{0.5}}{L^2}$ است.

محققین روش‌های مختلفی را برای کاهش آبشستگی ارایه کرده‌اند. بررسی‌های محققین نشان می‌دهد یکی از پارامترهای مؤثر بر آبشستگی، شکل سازه است. تکیه‌گاه‌های پل لبه گرد و با دیواره‌های زاویه‌دار مانند نیم‌دایره‌ای، شیب‌دار و بالدار، باعث ضعیف شدن گرداب می‌شوند، در حالی که تکیه‌گاه‌های پل لبه تیز مانند تکیه‌گاه قائم گرداب‌های قوی ایجاد می‌کنند (باربھویا و دی، ۲۰۰۴).

تحقیقات زیادی در مورد عملکرد طوق‌ها برای کاهش آبشستگی پایه پل‌ها توسط محققین انجام شده است، اما در مورد کاربرد طوق‌ها در تکیه‌گاه‌های پل پژوهش‌های چندانی صورت نگرفته است. کایاتورک (۲۰۰۵) تأثیر طوق در کاهش آبشستگی اطراف دیواره جانبی پل‌ها

وقوع آبشستگی^۱ از مهم‌ترین عوامل تهدید کننده پایداری تکیه‌گاه‌های پل^۲ احداث شده بر رودخانه‌ها است. برای جلوگیری از تخریب‌های احتمالی و زیان‌های جبران ناپذیر، لازم است با بررسی دقیق فرآیند آبشستگی و به کارگیری روش‌های مناسب، آبشستگی را کنترل کرد. در بالادست تکیه‌گاه پل، گردابان فشار عمودی ناشی از رکود جریان نزدیک شونده ایجاد می‌شود. در اثر گردابان فشار، سیال رو به پایین حرکت کرده و به بالا می‌چرخد و با برخورد به جریان عمومی گرداب اولیه را ایجاد می‌کند که اندازه آن با توسعه حفره آبشستگی افزایش می‌یابد. همچنین یک گرداب ثانویه با جهت چرخش معکوس با گرداب اولیه وجود دارد که پس از گرداب اولیه تشکیل می‌شود. این گرداب تأثیر بازدارنده‌ای برای ظرفیت آبشستگی گرداب اولیه دارد. در پایین‌دست تکیه‌گاه پل، گرداب‌های برخاستگی، در اثر جدایی جریان در گوشه‌های تکیه‌گاه، تشکیل می‌شود. موج کمائی^۳ با جهت چرخش مخالف با گرداب اولیه در نزدیک سطح آزاد بالادست تکیه‌گاه تشکیل می‌شود (دی و باربھویا، ۲۰۰۵).

روابط زیادی برای تخمین عمق آبشستگی در تکیه‌گاه‌های پل ارایه شده که برخی از آن‌ها به شرح زیر است:

معادله فروهلیچ (۱۹۸۹) در شرایط آب زلال:

$$\frac{d_s}{y} = 0.78 k_s k_\theta \left(\frac{L}{y} \right)^{0.63} F_r^{1.16} \left(\frac{y}{d} \right)^{0.43} \sigma_g^{-1.87} + 1 \quad (1)$$

که در آن، k_s فاکتور شکل تکیه‌گاه پل و k_θ فاکتور تراز آن که برابر است با $\left(\frac{\theta_a}{90} \right)$.

معادله لیم (۱۹۹۷):

$$\frac{d_s}{y} = K_s \left[0.9 \left\{ \theta_c^{0.275} F_s^{0.75} \left(\frac{d_s}{y} \right)^{0.25} \left[0.9 \left(\frac{L}{y} \right)^{0.5} + 1 \right] \right\} - 2 \right] \quad (2)$$

که در آن، θ_c پارامتر شیلدز بحرانی است.

معادله چوراسیا و لای (۲۰۰۲):

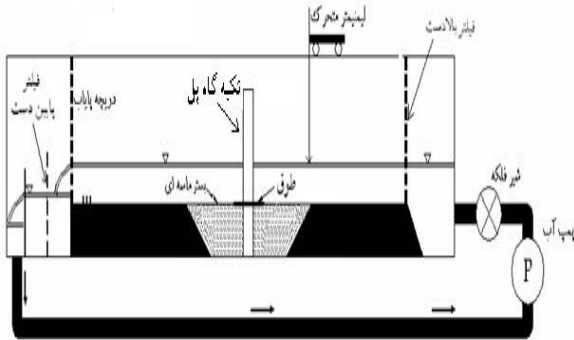
$$\frac{d_{se}}{y} = 2.657 \theta_c^{-0.16} F_d^{0.765} \left(\frac{L_a}{y} \right)^{0.245} \left(\frac{d_{50}}{y} \right)^{0.265} - 1 \quad (3)$$

معادله دی و باربھویا (۲۰۰۴) برای تکیه‌گاه‌های کوتاه پل در شرایط آب زلال:

$$\frac{d_s}{L} = 5.16 k_s \left(\frac{L}{y} \right)^{0.18} \left(\frac{V_c}{\sqrt{(s-1)gL}} \right)^{0.26} \quad (4)$$

- 1- Scouring
- 2- Bridge abutments
- 3- Bow wave

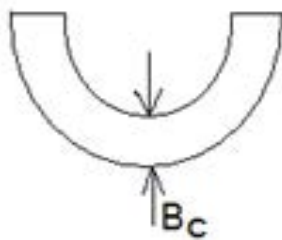
و مدل فیزیکی تکیه‌گاه پل در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- فلوم آزمایشگاهی و مدل فیزیکی تکیه‌گاه پل

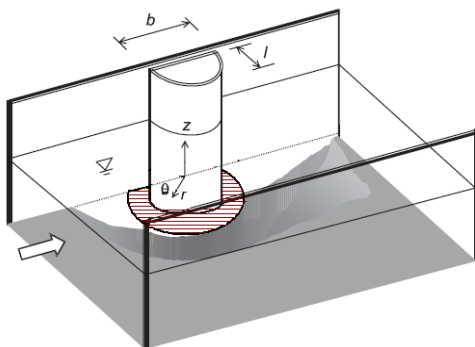
مدل تکیه‌گاه پل و طوق

مدل تکیه‌گاه‌های پل دارای مقطع نیم‌دایره‌ای بوده و از لوله‌های پی‌وی‌سی به شعاع L (۴، ۶، ۷/۶ و ۱۰ سانتی‌متر ساخته شد. مدل طوق‌ها از ورقه‌های آلومینیومی به شکل نیم‌دایره‌ای و با ضخامت یک میلی‌متر، مطابق شکل ۲ تهیه شد.



شکل ۲- طوق نیم‌دایره‌ای مورد استفاده در آزمایش‌ها

تکیه‌گاه‌های پل در مرکز بستر رسوبی، بر دیواره فلوم نصب شدند. طوق‌ها به شکل افقی و هم سطح بستر به تکیه‌گاه‌ها متصل می‌شدند (شکل ۳).



شکل ۳- نحوه اتصال طوق به تکیه‌گاه نیم‌دایره‌ای

(تکیه‌گاه قائم پل) بررسی کرد. نتایج آزمایش‌های وی نشان داد، کاربرد طوق‌ها در دیواره‌های جانبی پل‌ها برای کاهش توسعه عمق آب‌شستگی مؤثر بوده است و نرخ آب‌شستگی را کاهش می‌دهد. لی و همکاران (۲۰۰۶) نیز کاربرد طوق را به عنوان یکی از روش‌های کاهش آب‌شستگی تکیه‌گاه قائم پل بررسی کردند. نتایج آن‌ها مشخص کرد که حداقل فاصله لبه طوق در پایین‌دست تکیه‌گاه پل برابر با $0.4L$ (طول تکیه‌گاه)، حداقل عرض طوق برابر با $0.23L$ و ارتفاع نصب طوق باید برابر با y_m 0.08 (عمق آب در کانال اصلی) پایین‌تر از سطح بستر باشد. خسروی‌نیا (۱۳۸۸) تأثیر طوق‌های دوزنقه‌ای را بر روند آب‌شستگی در اطراف آبشکن‌های بالدار (تکیه‌گاه‌های بالدار پل) بررسی کرد. نتایج نشان داد درصد کاهش آب‌شستگی در نسبت سرعت $\left(\frac{V}{V_c}\right)$ از ۰/۹ تا ۱۵ تا ۳۸ درصد و در نسبت سرعت 0.8 از ۳۰ تا ۱۰۰ درصد برای طوق‌های با عرض مختلف متغیر است. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که تکیه‌گاه‌های نیم‌دایره‌ای پل^۱ علی‌رغم مزیت هیدرولیکی آن‌ها کمتر بررسی شده‌اند. همچنین کاربرد طوق برای کاهش آب‌شستگی در اطراف این تکیه‌گاه‌ها بررسی نشده است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر طوق در کاهش آب‌شستگی اطراف تکیه‌گاه‌های نیم‌دایره‌ای پل با مشخصات فیزیکی و شرایط هیدرولیکی مختلف است.

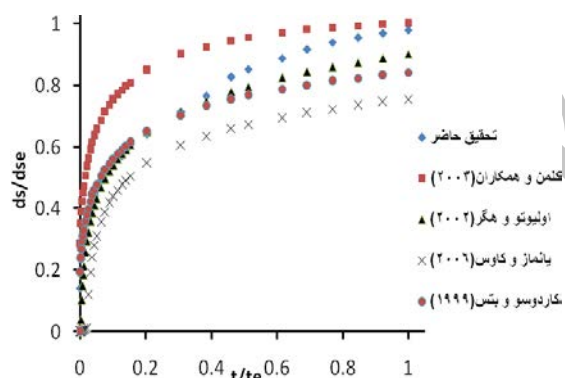
مواد و روش‌ها

مشخصات فلوم آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز در یک فلوم فلزی- شیشه‌ای به طول ۶ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و با شیب کف صفر انجام شد. آب توسط یک پمپ از مخزن اصلی به مخزن بالادست فلوم انتقال یافته و پس از عبور از فیلتر آرام کننده وارد فلوم می‌شود. عمق پایاب با استفاده از دریچه قابل تنظیم در انتهای فلوم، تنظیم می‌شود. یک سرریز مستطیلی در حوضچه پایین‌دست فلوم برای اندازه‌گیری دبی جریان تعبیه شده است. عمق جریان و همچنین عمق آب‌شستگی توسط عمق‌سنج با دقت 0.1 میلی‌متر اندازه‌گیری شد. طرح شماتیک فلوم آزمایشگاهی

1- Semicircular bridge abutments

در شکل ۴ توسعه زمانی عمق آب‌شستگی بی‌بعد برای تکیه‌گاه‌های پل بدون طوق به طول ۶ سانتی‌متر با نتایج محققین دیگر مقایسه شده است. از این شکل‌ها مشخص است که نمودار مربوط به این تحقیق با نمودار مربوط به معادله اولیوتو و هگر (۲۰۰۲) نسبت به نمودارهای دیگر هم‌خوانی بیشتری دارد و نمودار یانماز و کاوس (۲۰۰۶) نسبت به نمودار تحقیق حاضر و سایر نمودارها در سطح پایین‌تری قرار دارد. شاید دلیل این باشد که یانماز و کاوس (۲۰۰۶) در آزمایش‌های خود فقط از یک انحراف معیار استاندارد ثابت $\sigma_g = 1.4$ (و فقط دو اندازه رسوب استفاده کرده‌اند و در کل، معادله آن‌ها بر اساس داده‌های محدودی بوده است و چندان دقیق به نظر نمی‌رسد. همچنین در معادله کلمن و همکاران (۲۰۰۳) پارامترهای مؤثر بر آب‌شستگی مانند σ_g ، d_{50} و ρ_s به طور مستقیم در معادله قرار داده نشده و به صورت غیرمستقیم و کلی در آن وارد شده‌اند. در حالی که اولیوتو و هگر (۲۰۰۲) در معادله خود پارامترهای σ_g ، d_{50} و ρ_s را مستقیم وارد کرده‌اند.



شکل ۴- مقایسه توسعه زمانی برای تکیه‌گاه پل ۶ سانتی‌متری بدون طوق

شکل ۵ مقایسه بین حداکثر عمق آب‌شستگی به دست آمده از این تحقیق با مقادیر حاصل از معادله‌های محققین دیگر در حالت بی‌بعد را نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود با افزایش طول تکیه‌گاه پل، عمق آب‌شستگی مقداری افزایش می‌یابد. در شکل دیده می‌شود که کلیه نمودارها تقریباً روند مشابهی دارند اما نمودار مربوط به این تحقیق نسبت به سایر معادله‌های محققین دیگر در سطح پایین‌تری قرار دارد. شاید به این دلیل است که محققین مزبور در آزمایش‌های خود از تکیه‌گاه‌های قائم پل و d_{50} بزرگتر، که امکان دارد عمق آب‌شستگی

آزمایش‌ها در ۲ مرحله انجام شد. در مرحله اول تکیه‌گاه‌های بدون طوق بررسی شدند و در مرحله دوم از تکیه‌گاه‌های طوق‌دار با طوق‌های نیم‌دایره‌ای استفاده شد. تکیه‌گاه‌ها در این مرحله دارای شعاع L (۶، ۷/۶ و ۱۰ سانتی‌متر و طوق‌ها با ابعاد B_c (۲، ۳ و ۴ سانتی‌متر بودند. کلیه آزمایش‌ها در شدت جریان $(\frac{V}{V_c}) = 0.85$ انجام شد.

مشخصات جریان و رسوب

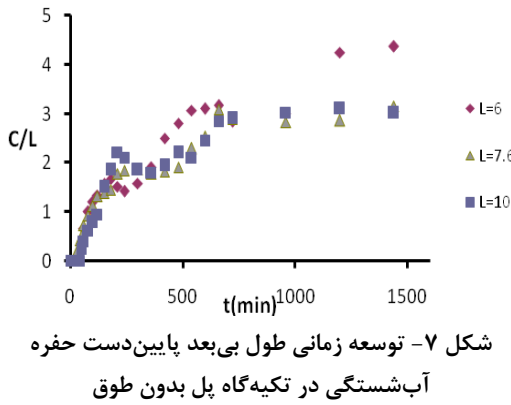
در همه آزمایش‌ها جریان یکنواخت بود و عدد رینولدز $(Re = \frac{4VR}{g})$ که در آن، R شعاع هیدرولیکی، V سرعت جریان و g لزجت سینماتیکی است، برابر با 1.06×10^5 بود. همچنین رژیم جریان در آزمایش‌ها با عدد فرود 0.178 زیر بحرانی بود. مقدار دبی Q (و عمق جریان y) با توجه به اندازه تکیه‌گاه‌های پل و با در نظر گرفتن نسبت $\frac{L}{y} < 1$ برای برقراری شرایط آب زلال با نسبت شدت جریان $(\frac{V}{V_c}) = 0.85$ به ترتیب برابر با ۳۰ لیتر بر ثانیه و $16/55$ سانتی‌متر تعیین شد. مواد رسوبی در آزمایش‌ها، مواد غیرچسبنده با قطر متوسط d_{50} (۰/۶۳ میلی‌متر و چگالی ρ_s (۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. برای تعیین زمان تعادل t_e (چند سری آزمایش انجام گرفت. حفره آب‌شستگی پس از ۷۸ ساعت به تعادل رسید. با توجه به اینکه عمق آب‌شستگی بعد از ۲۴ ساعت به حد بیش از ۸۲ درصد عمق تعادل رسید، زمان قطع آزمایش‌ها ۲۴ ساعت تعیین شد.

نتایج و بحث

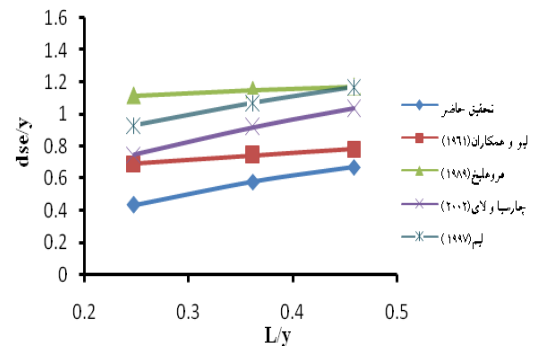
نتایج آزمایش تکیه‌گاه‌های پل بدون طوق

در این آزمایش‌ها دیده شد آب‌شستگی ابتدا در جلوی تکیه‌گاه پل و با زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه نسبت به دیواره جانبی فلوم در بالادست تکیه‌گاه شروع می‌شود. با شروع آب‌شستگی، مواد رسوبی فرسایش یافته به طرف پایین‌دست منتقل و تشکیل ریپل دادند. با گسترش حفره آب‌شستگی در اطراف تکیه‌گاه پل مواد رسوبی بیشتری به پایین‌دست منتقل و ریپل‌های بزرگتری در پایین‌دست تکیه‌گاه ایجاد می‌شد. این ریپل‌ها به مرور زمان به شکل مورب نسبت به عرض فلوم به طرف پایین‌دست تکیه‌گاه گسترش یافت.

بیشتری را ایجاد کنند، استفاده کرده‌اند.



شکل ۷- توسعه زمانی طول بی بعد پایین دست حفره آبشستگی در تکیه‌گاه پل بدون طوق

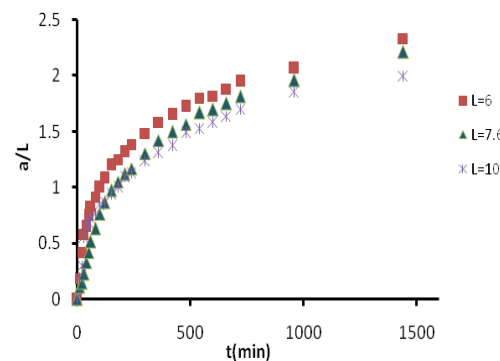


شکل ۸- مقایسه معادله بین $\frac{L}{y}$ و $\frac{d_{se}}{y}$ برای تکیه‌گاه پل بدون طوق

نتایج آزمایش تکیه‌گاه‌های پل طوق‌دار در آزمایش‌های مربوط به تکیه‌گاه‌های پل طوق‌دار از طوق نیم‌دایره‌ای، روی بستر رسوبی استفاده شد. به طور کلی مکانیسم آبشستگی در تکیه‌گاه‌های پل طوق‌دار با طوق‌های مختلف یکسان بوده و تنها و مهم‌ترین اختلاف آن‌ها در تأخیر زمانی ایجاد شده توسط طوق‌های مختلف است. آبشستگی ابتدا در پایین دست تکیه‌گاه پل در زاویه ۱۲۰ تا ۱۳۵ درجه توسط جریان گردابی ایجاد شده و با گذشت زمان و پس از ایجاد حفره در این قسمت، ذرات رسوبی از لبه‌های کناری طوق جدا شده و توسط جریان به پایین دست انتقال می‌یافت. این امر موجب ایجاد شیارهایی در لبه‌های طوق می‌شد که کم‌کم در اطراف طوق گسترش یافته و باعث ایجاد حفره آبشستگی در اطراف آن می‌گردید. همچنین حفره آبشستگی مانند حالت بدون طوق بیشتر در زاویه ۴۵ تا ۶۰ گسترش می‌یافت و در مدل‌های مختلف با توجه به اندازه تکیه‌گاه پل و شکل و اندازه طوق، مدت زمان لازم برای ایجاد و گسترش حفره آبشستگی متفاوت بود. توسعه زمانی آبشستگی در تکیه‌گاه‌های پل طوق‌دار با ابعاد مختلف در شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است.

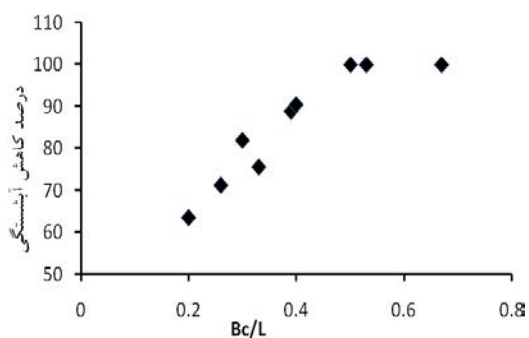
نکته قابل توجه در این شکل‌ها این است که طوق‌ها به طور قابل توجهی باعث کاهش آبشستگی شده‌اند. به طوری که برای طوق‌های با اندازه‌های مختلف بین ۶۳/۵ تا ۱۰۰ درصد کاهش عمق آبشستگی در کناره تکیه‌گاه پل وجود داشت که تأثیر طوق‌ها در منحرف کردن جریان پایین‌رونده را نشان می‌دهد. طوق‌ها علاوه بر کاهش آبشستگی، باعث تأخیر زمانی آبشستگی نیز شده‌اند به طوری که هر چه عرض طوق بیشتر باشد، تأخیر زمانی بیشتر است زیرا مدت زمان لازم برای توسعه شیارهای ایجاد شده در لبه طوق به زیر آن و کناره تکیه‌گاه بیشتر

در آزمایش‌های این تحقیق علاوه بر عمق آبشستگی، طول بالادست (a) و پایین دست حفره (c) اندازه‌گیری و بررسی شد. همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده، طول بالادست حفره آبشستگی مانند عمق آبشستگی با روند منظمی در حال افزایش است، به طوری که سرعت آبشستگی در زمان‌های اولیه آزمایش بیشتر بوده و با توسعه حفره آبشستگی، سرعت آن کاهش یافت. طول پایین دست حفره آبشستگی همان طور که در شکل ۷ نشان داده شده، بر خلاف طول بالادست، روند افزایشی منظمی ندارد و در طول آزمایش تغییرات زیادی در اندازه آن و شکل این قسمت از حفره رخ داد که ممکن است ناشی از عبور ریپل‌های تشکیل شده در این قسمت از حفره باشد.



شکل ۹- توسعه زمانی طول بی بعد بالادست حفره آبشستگی در تکیه‌گاه پل بدون طوق

است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با تغییر نسبت عرض طوق به قطر تکیه‌گاه پل ($\frac{Bc}{L}$) از $\frac{0.2}{L}$ تا $\frac{0.6}{L}$ عمق آبشستگی از $\frac{63}{5}\%$ تا $\frac{100}{100}\%$ کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد افزایش این نسبت به مقدار بیشتر از $\frac{0.4}{L}$ که عمق آبشستگی در حدود $\frac{87}{100}\%$ کاهش یافته است، از نظر اقتصادی به صرفه نباشد.

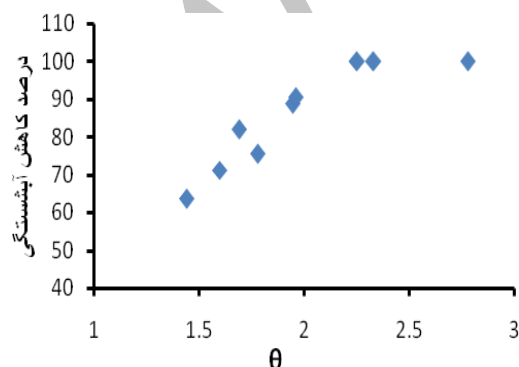


شکل ۱۱- تأثیر نسبت $\frac{Bc}{L}$ در درصد کاهش آبشستگی

تغییرات درصد کاهش آبشستگی نسبت به پارامتر θ در شکل ۱۲ نشان داده شده است. که پارامتر θ به صورت زیر بیان می‌شود:

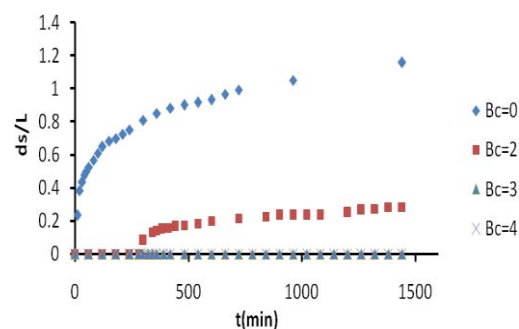
$$\theta = \frac{A_{total}}{A_{abutment}} \quad (9)$$

که در آن، A_{total} مجموع سطح طوق و تکیه‌گاه پل و $A_{abutment}$ سطح تکیه‌گاه است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش پارامتر θ در نتیجه افزایش عرض طوق، درصد کاهش آبشستگی افزایش می‌یابد.

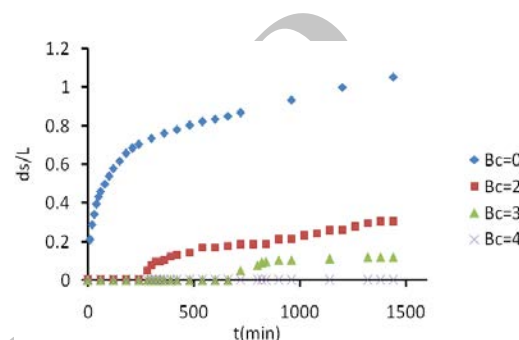


شکل ۱۲- تأثیر پارامتر θ در درصد کاهش آبشستگی

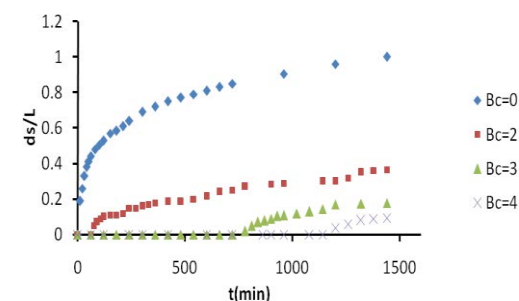
به‌طور کلی نتایج آزمایش‌های محققین مختلف نشان می‌دهد که بیشتر روش‌های مقابله با آبشستگی در تکیه‌گاه‌های پل هر چند موجب کاهش حداکثر عمق



شکل ۸- توسعه زمانی آبشستگی در تکیه‌گاه پل طوق‌دار با $L = 6cm$



شکل ۹- توسعه زمانی آبشستگی در تکیه‌گاه پل طوق‌دار با $L = 7.6cm$



شکل ۱۰- توسعه زمانی آبشستگی در تکیه‌گاه پل طوق‌دار با $L = 10cm$

در شکل ۱۱ تغییرات درصد کاهش آبشستگی نسبت به پارامتر $\frac{Bc}{L}$ نمایش داده شده است. دیده می‌شود با افزایش نسبت $\frac{Bc}{L}$ درصد کاهش آبشستگی زیاد می‌شود یعنی با افزایش عرض طوق، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. دلیل مسأله این است که طوق‌های با عرض بیشتر، دارای سطح بیشتری است. به همین دلیل زمان لازم برای گسترش شیارهای ایجاد شده در لبه طوق به کناره تکیه‌گاه پل، به خصوص در بالادست تکیه‌گاه، بیشتر

شد. اما حداکثر عمق آبشستگی در هر دو حالت در زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه ایجاد شد.

- با افزایش طول بی‌بعد تکیه‌گاه پل $(\frac{L}{y})$ ، حداکثر عمق بی‌بعد آبشستگی $(\frac{d_{se}}{y})$ نیز مقداری افزایش می‌یابد.

- در تکیه‌گاه پل بدون طوق، طول بالادست حفره آبشستگی در طول آزمایش با روند منظمی در حال افزایش بود، اما طول پایین‌دست حفره حین آزمایش دارای تغییرات مشخصی در شکل و اندازه نبود.

- آبشستگی در تکیه‌گاه پل بدون طوق از زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه در بالادست شروع شد. در حالی که در تکیه‌گاه پل طوق‌دار آبشستگی از زاویه ۱۲۰ تا ۱۳۵ درجه شروع شد. اما حداکثر عمق آبشستگی در هر دو حالت در زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه ایجاد شد.

- طوق‌ها به طور قابل توجهی باعث کاهش آبشستگی شده و علاوه بر آن باعث تأخیر زمانی آبشستگی نیز شده‌اند به طوری که هر چه عرض طوق بیشتر باشد، تأخیر زمانی بیشتر است.

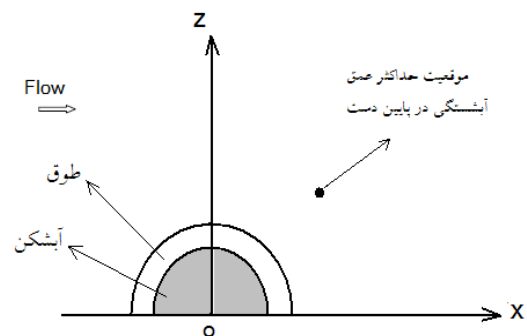
- با افزایش نسبت $\frac{Bc}{L}$ ، درصد کاهش آبشستگی کاهش یافت و با افزایش پارامتر θ که معرف سطح طوق است، عمق آبشستگی کاهش یافت.

- طوق‌ها باعث انتقال حداکثر عمق آبشستگی به پایین‌دست تکیه‌گاه پل شده و با افزایش طول تکیه‌گاه، فاصله حداکثر عمق آبشستگی از محل تکیه‌گاه بیشتر شده و به مرکز فلوم نزدیک‌تر می‌شود.

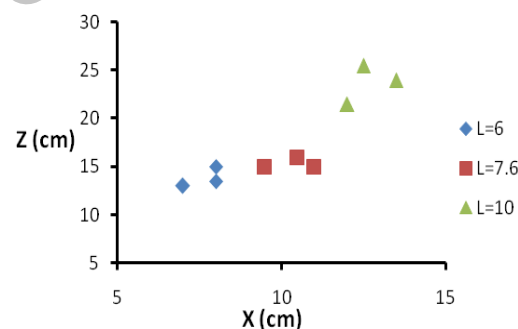
منابع

۱. خسروی‌نیا پ. ۱۳۸۸. تأثیر طوق در کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز. ۱۱۶ ص.
2. Barbhuiya A. K. and Dey S. 2004. Local scour at abutments: A review. Sadhana: Academy Proceedings in Engineering Sciences. India. 29(5):449-476.
3. Cardoso A. H. and Bettess R. 1999. Effects of time and channel geometry on scour at bridge abutments. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 125(4):388-398.
4. Chaurasia E. S. R. and Lai P. B. B. 2002. Local scour around bridge abutments. International Journal of Sediment Research. 17(1):48-74.
5. Coleman S. E. Lauchlan C. S. and Melville B. W. 2003. Clear-Water scour development at

آبشستگی در کناره تکیه‌گاه می‌شوند اما حداکثر عمق آبشستگی را به اطراف تکیه‌گاه منتقل می‌کنند. در تحقیق حاضر نیز حداکثر عمق آبشستگی کمی پایین‌تر از تکیه‌گاه پل و به طرف مرکز کانال انتقال یافت. در شکل ۱۳ طرح شماتیک موقعیت حداکثر عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل طوق‌دار نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، با افزایش طول تکیه‌گاه پل، فاصله حداکثر عمق آبشستگی از محل تکیه‌گاه بیشتر شده و به مرکز فلوم نزدیک‌تر می‌شود.



شکل ۱۳- طرح شماتیک موقعیت حداکثر عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل طوق‌دار



شکل ۱۴- موقعیت حداکثر عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل طوق‌دار

نتیجه‌گیری

- سرعت آبشستگی تکیه‌گاه پل بدون طوق، در لحظات اولیه آزمایش بیشتر بوده و با گسترش حفره آبشستگی، سرعت آن کاهش می‌یابد تا به عمق تعادل برسد.
- نمودار مربوط به توسعه حفره آبشستگی تکیه‌گاه پل بدون طوق با نمودار معادله اولیوتو و هگر (۲۰۰۲) روند نسبتاً مشابهی داشت.
- آبشستگی در تکیه‌گاه پل بدون طوق از زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه در بالادست شروع شد. در حالی که در تکیه‌گاه پل طوق‌دار آبشستگی از زاویه ۱۲۰ تا ۱۳۵ درجه شروع

10. Li h. Kuhnle R. and Barkdoll B. D. 2006. Countermeasure against scour at abutments. Report No. 49. USDA. Agricultural Research Service.
11. Lim S. Y. 1997. Equilibrium clear-water scour around an abutment. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 123(3):237-243.
12. Oliveto G. and Hager W. H. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 128(9):811-820.
13. Yanmaz M. and Kose O. 2006. Time- wise variation of scouring at bridge abutments. Sadhana: Academy Proceedings in Engineering Sciences. India. 32(3):199-213.
- bridge abutments. Journal of Hydraulic Research. 41(5):521-531.
6. Dey S. and Barbhuiya A. K. 2004. Clear-water scour at abutments in thinly armored beds. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 130(7):622-634.
7. Dey S. and Barbhuiya A. K. 2005. Turbulent flow field in a scour hole at a semicircular abutment. Canadian Journal of Civil Engineering. 32(1):213-232.
8. Froehlich D. C. 1989. Local scour at bridge abutments. Proceedings of National Conference on Hydraulic Engineering. Edited by Michael A. Ports, New Orleans, Louisiana.
9. Kayaturk S. Y. 2005. Scour and Scour Protection at Bridge Abutments. PhD Thesis. Middle East Technical University. 213 pp.

Archive of SID